4П

УДК 004.382

С.А. Поливцев, Е.С. Цыбульник, В.В. Кобыляков
Институт проблем искусственного интеллекта
МОН Украины и НАН Украины, г. Донецк
Украина, 83048, г. Донецк, ул. Артема, 118-б

Способ настройки ZigBee радиосети

S.A. Polivtsev, H.S. Thsibulnik, V.V. Kobiliakov
Institute of Artificial Intelligence
MES of Ukraine and NAS of Ukraine, c. Donetsk
Ukraine, 83048, c. Donetsk, Artema st., 118-b

Way of Adjustment ZigBee of a Radio Network

С.О. Полівцев, Е.С. Цибульнік, В.В. Кобиляков
Інститут проблем штучного інтелекту
МОН України і НАН України, м. Донецьк
Україна, 83048, м. Донецьк, вул. Артема, 118-б

Спосіб налаштування ZigBee радіомережі

В статье рассматриваются практические вопросы построения системы управления радиосетью диапазона 2,4 ГГц в стандарте ZigBee. Использованы RF микросхемы типа CC2520 с ARM микроконтроллерами STM32F100RC. Решен вопрос добавления в сеть нового узла без применения компьютера. Это позволяет строить сеть неквалифицированному пользователю самостоятельно, что улучшает потребительские свойства ZigBee сетей.
Ключевые слова: ZigBee сеть, CC2520, ARM Cortex.

In the article the practical questions of construction of control system are examined by the radio network of range 2,4 ГГц in the standard of ZigBee. RF of microcircuit of type of CC2520 is used with ARM by the microcontrollers of STM32F100RC. The question of adding is decided to the network of new knot without application of computer. It allows to build a network to the unskilled user independently, that improves consumer properties of ZigBee of networks.
Key words: ZigBee network, CC2520, ARM Cortex.

У статті розглядаються практичні питання побудови системи управління радіомережею діапазону 2,4 ГГц у стандарті ZigBee. Використано RF мікросхему типу CC2520 з ARM мікроконтроллером STM32F100RC. Вирішено питання додавання в мережу нового вузла без застосування комп’ютера. Це дозволяє будувати мережу некваліфікованому користувачеві самостійно, що покращує споживчі властивості ZigBee мереж.
Ключові слова: ZigBee мережа, CC2520, ARM Cortex.

Введение

Суть проблемы. Беспроводные устройства радиосистем ZigBee для домашней автоматизации позволяют решить ряд насущных проблем современного дома: техническая сигнализация; домовая и охранная сигнализация; программирование и контроль потребления электроэнергии, воды, газа; удаленный контроль ситуации в доме через сети GSM и Интернет и ряд других. Однако, при всех достоинствах у современных ZigBee сетей есть ряд недостатков. К таковым можно отнести участие специалистов в первичной наладке сети под конкретного пользователя, внесение

изменений в сеть также требует участия специалистов или соответствующей квалификации пользователей. В принципе все действия по наладке и реконфигурированию описаны в руководствах, есть программы, реализующие наладку и реконфигурацию, но их освоение требует времени и высокой квалификации пользователей. Участие специалистов в наладке ZigBee сети существенно удорожает ее стоимость. Здесь уместна аналогия с сетью Интернет – пока работа с ней была доступна квалифицированным специалистам, её распространение было весьма малым. Как только появилось простое в установке оборудование и работающие с ним интуитивно понятные программы, простые в настройках и работе, то спрос на оборудование и программные продукты, связанные с Интернет технологиями, возрос в десятки тысяч раз и не снижается до сих пор. В данной статье предлагается программный способ решения задач первичного конфигурирования и реконфигурирования ZigBee сети. Реализация этого способа не удорожает оборудования, делает работу с ZigBee сетью доступной пользователю без всякой квалификации и, следовательно, способствует более широкому распространению ZigBee сетей для домашней автоматизации.

Используемые структуры данных

В документах [1], описывающих работу системы ZigBee и ее отдельных компонент, не указано, каким образом отдельные компоненты связываются в сеть, как производится добавление, исключение и замена узлов в сети. В стартовых наборах [2], предназначенных для разработчиков сетей, предполагается наличие ЭВМ в системе и программирование свойств каждого узла и сети в целом. Этого достаточно для специалистов, работающих в области построения радиосетей, но совершенно не подходит для массового потребителя.

Следует сказать, что и сам стандарт IEEE 802.15.4/ZIGBEE является больше рекомендательным, чем руководящим документом. Кроме того, этот стандарт достаточно молод и находится в стадии постоянных изменений и дополнений. Используя положения стандарта, предлагается решение задачи добавления, исключения и замены узлов в сети без применения ЭВМ.

Для практической реализации была взята за аналог сеть SimpliciTI, описанная в [3]. В ней в качестве RF модулей использованы микросхемы CC2520 [4], управляемые микроконтроллерами (МК) типа MSP430. В языке «С», использованном в аналоге, есть конструкция данных, называемая структурой. Описание структуры хорошо для программиста, но мало пригодно для статьи. Для краткости описания, в данной статье каждой структуре ставится в соответствие имя множества, а элементу структуры – буква с индексом (указаны в скобках при описании структуры). В управляющем МК каждого узла ZigBee сети использованы следующие структуры данных.

Структура данных данного узла сети (множество А)

```
typedef struct
{ myAddr;   (a0)  // Идентификатор (адрес) этого устройства.
 panId;     (a1)  // Идентификатор используемой сети.
 channel;   (a2)  // Номер используемого канала.
 ackRequest;(a3)  // Флаг ожидать/не ожидать подтверждения запроса.
} basicRfCfg_t;
```

Структура состояний данного узла сети (множество В).

```
typedef struct
{ txSeqNumber; (b0)     // Номер текущей отсылаемой структуры SeqNumber.
```

ackReceived; (b_1) // Состояние – прием/неприем ACK.
receiveOn; (b_2) // Состояние приемника.
frameCounter; (b_3) // Счетчик структур.
} basicRfTxState_t;

Структура узлов сети (множество C).
0. (c_0) – Дата и время обновления страницы устройств сети;
1. (c_1) – Позиционный номер данного устройства в сети;
2. (c_2) – Число устройств в сети;
3. (c_3) – Идентификатор сети;
4. (c_4) – Поле Unit_Zero адрес устройства № 0;
5. (c_5) – Поле Unit_One адрес устройства № 1;

.
.
.

1004. (c_{1004}) – Поле Unit_Addr адрес устройства № 1000.

Структура данных приема и передачи одной посылки (множество D).
typedef struct
{ length; (d_0) // Число байт в структуре отсылки без байта length.
ackRequest; (d_1) // Байт ожидать/не ожидать подтверждения запроса.
seqNumber; (d_2) // Номер текущей отсылаемой структуры.
srcPanId; (d_3) // Идентификатор сети в этой посылке передачи/приема.
dstAddr; (d_4) // Адрес назначения (приемника) этой посылки.
srcAddr; (d_5) // Адрес источника (передатчика)этой посылки.
*pPayload; (d_6) // Указатель на данные, включаемые в эту посылку.
rssi; (d_7) // Значение rssi на стороне передатчика этой посылки.
} basicRfRxInfo_t;

Каждая структура данных меняет свое содержимое в зависимости от текущего состояния узла и общего состояния сети. В свою очередь, каждый узел может находиться в следующих состояниях:

– не инициализирован – т.е. он имеет собственный уникальный номер, но не имеет позиционного номера ни в какой сети;

– инициализирован – имеет позиционный номер в данной сети.

Каждый узел может иметь следующий режим работы:

– простоя (IDLE) или $b_2 = 0$;

– передачи данных (Data_Trans) или $b_2 = 1$;

– передачи подтверждения (ACK_Trans) или $b_2 = 2$;

– приема данных (Data_Rec) или $b_2 = 3$;

– приема подтверждения (ACK_Rec) или $b_2 = 4$.

Принимается, что каждая ZigBee сеть не имеет постоянной конфигурации, в нее могут добавляться новые узлы, удаляться старые узлы, могут добавляться и удаляться пульты управления. При этом ставится условие, что изменения в ZigBee системе должны производиться без применения компьютеров и дополнительного программного обеспечения.

Способ решения задачи

Для решения этой задачи предлагается на этапе производства (где применение ЭВМ неизбежно для записи программ в микроконтроллеры и тестирования модулей) в МК пультов управления записывать уникальные идентификаторы сети (PAN_ID) =

0xYYYY, позиционный номер в сети (Unit_Zero) = 0; число элементов в сети (Num_Unit) = 0. В МК узлов управления предлагается записывать уникальные идентификаторы сети (PAN_ID) = 0xFFFF, позиционный номер в сети (Unit_Zero) = 0; число элементов в сети (Num_Unit) = 0. Также предполагается, что пульт управления имеет не менее 12 кнопок – с цифрами 0...9 и символами * и # (это условие выполняется для 100% «телефонных клавиатур» и эти символы можно передать с ЭВМ).

Первичное конфигурирование ZigBee сети производится в следующей манере. Запускается в работу пульт управления (путем установки батарей питания) и первый из узлов (путем установки батарей питания или включения в электрическую сеть). Оба узла автоматически становятся в режим приема данных (Data_Rec) на определенной частоте. На пульте нажимается кнопка «1» и пульт посылает посылку с идентификатором сети PAN_ID = 0xFFFF, адресом отправителя srcAddr = Unit_Zero, адресом получателя dstAddr = Unit_Zero, а в качестве полезной информации передается PAN_ID = 0xYYYY. Посылка содержит требование передачи подтверждения. Далее пульт становится в режим приема подтверждения (ACK_Rec), время которого ограничено.

Управляемый узел принимает эту посылку, записывает в свою структуру PAN_ID, переданный как данные, присваивает себе позиционный номер = Unit_Two, записывает число узлов в сети Num_Unit = 2. Эта информация сохраняется во FLASH памяти микроконтроллера и в рабочих структурах в RAM памяти. Теперь, даже после выключения/включения питания, узел будет помнить, восстанавливать эти данные и использовать их в работе. Далее узел переходит в режим передачи подтверждения (ACK_Trans).

Пульт управления, получив ACK, выполняет следующую работу. Присваивает себе позиционный номер = Unit_One, записывает число узлов в сети Num_Unit = 2. Эта информация сохраняется во FLASH памяти микроконтроллера и в рабочих структурах в RAM памяти.

Таким образом, каждый узел построенной ZigBee сети имеет точное представление о числе узлов сети, PAN_ID сети, свой собственный позиционный номер в сети = srcAddr. Этой информации достаточно для формирования структуры данных приема и передачи одной посылки.

Заметим, что в построенной сети нет устройства Unit_Zero. При подключении в сеть следующего узла, на пульте управления нажимается кнопка «2», пульт определяет, что с этой кнопкой не ассоциирован ни один член сети и посылает посылку с идентификатором сети PAN_ID = 0xFFFF, адресом отправителя srcAddr = Unit_Zero, адресом получателя DstAddr = Unit_Zero, и в качестве полезной информации передается PAN_ID = 0xYYYY и действительное число узлов сети Num_Unit. Посылка содержит требование передачи подтверждения. Далее пульт становится в режим приема подтверждения (ACK_Rec), время которого ограничено.

Добавляемый узел принимает эту посылку, записывает в свою структуру PAN_ID переданный как данные, присваивает себе позиционный номер = Num_Unit + 1, записывает число узлов в сети Num_Unit = Num_Unit + 1. Далее узел переходит в режим передачи подтверждения (ACK_Trans).

Пульт управления, получив ACK, выполняет следующую работу. Записывает число узлов в сети Num_Unit = Num_Unit + 1. Эта информация сохраняется во FLASH памяти микроконтроллера и в рабочих структурах в RAM памяти.

По завершению работы по добавлению узлов в сеть (длительность этой работы может быть ограничена во времени) или при повторном нажатии на кнопку 1 на

пульте, МК пульта выполняет дополнительную работу по конфигурации сети – анализируется обстановка в районе расположения узлов сети, выбираются каналы передачи/приема, позиционные номера Unit_Zero, Unit_Two, Unit_Three… заменяются другими идентификаторами (например, уникальными идентификаторами МК). После этого ZigBee сеть на 100% готова к работе.

С точки зрения структур сети, пульт управления ничем не отличается от узла сети и поэтому их может быть несколько в сети, но эти дополнительные пульты перед добавлением должны иметь PAN_ID = 0xFFFF, позиционный номер в сети (Unit_Zero) = 0; число элементов в сети (Num_Unit) = 0. Тогда их регистрация в сети производится по вышеописанной методике.

Удаление узла из сети производится по команде с пульта вида *xx*yy*yy#, где: xx – код команды, yy – позиционный номер удаляемого узла. В этой же манере может быть вставлен новый узел в сеть вместо удаленного.

В рамках предложенных структур данных можно рассмотреть последовательность переходов в режимах работы для двух узлов при обмене простыми сообщениями при добавлении нового узла в сеть. Обозначим через $\boldsymbol{A_1, B_1, C_1}$ множества (структуры), связанные с пультом, и через $\boldsymbol{A_K, B_K, C_K}$ множества (структуры), связанные с добавляемым узлом. Обозначим через $\boldsymbol{D_{1K}}$ сообщение, посылаемое от узла ***1*** (пульт) к узлу ***K*** (добавляемый узел):

$$\boldsymbol{D_{1K} = \{ d_0, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7 \}},$$

где $d_0 = 17$; $d_1 = 1$; $d_2 = 0$; $d_3 = 0xFFFF$; $d_4 = 0$; $d_5 = 0$; $d_6 = \{a1, c2\}$; $d_7 = xx$.

После отсылки сообщения пульт переходит в состояние $\boldsymbol{b_{12} = 5}$.
Напомним, что $d_7 = xx$ – это измеренная величина сигнала на входе приемника источника посылки (в данном случае – пульта).

Соответственно, ответ – подтверждение получения сообщения или посылка сообщения от узла ***K*** (добавляемый узел) к узлу ***1***(пульт) имеет вид:

$$\boldsymbol{D_{K1} = \{ d_0, d_1, d_7 \}},$$

где $d_0 = 17$; $d_1 = 0$; $d_7 = xx$.

Если сообщение $\boldsymbol{D_{K1}}$ получено, то $\boldsymbol{c_{12} = c_{12} + 1; c_{1K} = K; b_{12} = 0.}$

Соответственно в структурах добавленного узла сети происходят следующие изменения:

$\boldsymbol{c_{K1} = d_6(2) + 1; c_{K3} = d_6(1); c_{K[d6+4]} = d_6(2) + 1; a_{K0} = d_6(2) + 1; a_{K1} = d6(1), b_{K2} = 4}$.

Разумеется, все эти преобразования данных являются сильным упрощением реальных процессов, происходящих при обмене в узлах сети – не отображены факторы времени и поражения данных помехами, экстренные обмены в сети и т.п. Однако эти преобразования позволяют коротко (в реальных программах это около 200 строк на «С») и наглядно показать способ решения задачи конфигурирования и реконфигурирования ZigBee сети без применения дополнительного оборудования и программ, а также привлечения квалифицированных специалистов.

Выводы

Решен вопрос добавления в сеть нового узла без применения компьютера. Это позволяет строить сеть неквалифицированному пользователю самостоятельно, что улучшает потребительские свойства ZigBee сетей.

Кроме разработки предлагаемого способа, авторами выполнено портирование программного обеспечения с МК типа MSP430 на МК типа STM32F100RC, обладающего существенно лучшими характеристиками как по быстродействию, так и по объему памяти. Были проведены натурные эксперименты в ZigBee сети, состоящей из 5 узлов, которые полностью подтвердили работоспособность предложенного способа реконфигурации радиосети в стандарте IEEE 802.15.4. Предложенные структуры и их реализация в МК типа STM32F100RC позволяют легко реализовать сеть с числом узлов до 1000.

Литература

1. IEEE Standard for Information technology. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.ti.com/
2. CC2420DBK Demonstration Board Kit. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.ti.com/
3. Simple Modular RF Network Specification. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.ti.com/simpliciti
4. CC2520 DATASHEET 2.4 GHZ IEEE 802.15.4/ZIGBEE RF TRANSCEIVER. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.ti.com/

Literatura

1. IEEE Standard for Information technology. Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs). – www.ti.com/
2. CC2420DBK Demonstration Board Kit. – www.ti.com/
3. Simple Modular RF Network Specification. – www.ti.com/simpliciti
4. CC2520 DATASHEET 2.4 GHZ IEEE 802.15.4/ZIGBEE RF TRANSCEIVER. – www.ti.com/

RESUME

S.A. Polivtsev, H.S. Thsibulnik, V.V. Kobiliakov

Way of Adjustment ZigBee of a Radio Network

In the article the practical questions of construction of control system are examined by the radio network of range 2,4 ГГц in the standard of ZigBee. RF of microcircuit of type of CC2520 is used with ARM by the microcontrollers of STM32F100RC. The question of adding is decided to the network of new knot without application of computer. It allows to build a network to the unskilled user independently, that improves consumer properties of ZigBee of networks.

The addition question in a network of new knot without computer application is dealt with. It allows to build a network to not qualified user independently that improves consumer properties ZigBee of networks. Except working out of an offered way, authors it is executed портирование the software with МК type MSP430 on МК type STM32F100RC possessing essentially the best characteristics both on speed and on a memory size. Natural experiments in ZigBee networks consisting of 5 knots which have completely confirmed working capacity of the offered way реконфигурации radio networks in standard IEEE 802.15.4 have been made. The offered structures and their realisation in MC type STM32F100RC allow to realise easily a network with number of knots to 1000.

Статья поступила в редакцию 08.04.2013.